

Modelagem da ilha de calor urbana para cidade pequena (Rancharia-SP) a partir de imagens do satélite Landsat 7 e de medidas da temperatura do ar.

Danielle Cardozo Frasca Teixeira¹
Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim²
Vincent Dubreuil³

¹Universidade Estadual Paulista – FCT/UNESP, Grupo de Pesquisa Interações na superfície, água e atmosfera, GAIA.
Rua Roberto Simonsen, 305, Presidente Prudente, SP, Brasil
[danielle.frasca@hotmail.com]

²Universidade Estadual Paulista – FCT/UNESP, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Geografia, Grupo de Pesquisa Interações na superfície, água e atmosfera, GAIA.
Rua Roberto Simonsen, 305, Presidente Prudente, SP, Brasil
[mccta@fct.unesp.br]

³Universidade de Rennes 2, LETG-Rennes-COSTEL
UMR 6554 CNRS. Place du Recteur H.Le Moal
35000 RENNES, França
[vincent.dubreuil@uhb.fr]

Abstract. Modeling of the urban heat island for a small town (Rancharia-SP) based on Landsat 7 satellite images and air temperature measurements. Urban heat islands result primarily from local changes in land use. The interpolation of the data often appears as a problem, as the real knowledge of the local climate remains largely obscure in detail, requiring thus a robust statistical and geostatistical treatment applied to a systematic and complex climate analysis that considers qualitative and quantitative aspects. The purpose of this paper is to present the results of the urban heat island (UHI) modeling based on the relationship with land use in Rancharia, a small town, considering temperature measures recorded through mobile transects, fixed points, and Landsat 7 satellite images. The results show that the model was efficient for the estimation of then air temperature and spatial distribution of the UHI.

Palavras-chave: Remote sensing, GIS, Urban Heat Islands, Modeling, satellite images.

1. Introdução

As ilhas de calor urbanas resultam principalmente das mudanças no uso da terra que ocorrem localmente.

Para diagnosticar a intensidade e a magnitude deste problema a maioria dos estudos se utiliza de medidas de temperaturas do ar, por meio de transectos móveis ou de registros em pontos fixos. No entanto, o conhecimento real do clima local permanece, em grande parte, obscuro em detalhes. As ferramentas como a estatística e a geoestatística possibilitam uma análise climática rigorosa nos aspectos qualitativo e quantitativo e por meio dos SIGs (*Geographics Information System*) os dados podem ser integrados e relacionados entre si, de maneira que as informações genéricas são transformadas em informações úteis e relevantes (LANG e BLASCHKE, 2009. p. 42). Vários autores têm proposto metodologias que utilizam os SIGs para interpolar as temperaturas do ar através da incorporação de bases de dados de fina escala, tais como o relevo, a altura dos edifícios, superfícies impermeáveis, vegetação, etc. (AMORIM et al., 2009; DUBREUIL et al., 2010; FERREIRA, 2012; FOISSARD et al., 2013). No entanto, essas metodologias pressupõem o acesso a uma riqueza de informações, muitas vezes disponíveis em países desenvolvidos, mas não necessariamente para os outros.

Foissard et al (2013) analisaram a distribuição espacial da ilha de calor urbana em Rennes, França, a partir de 22 estações meteorológicas considerando os fatores de uso da terra e a diferença da temperatura média mínima para o ano de 2011. Baseando-se neste exemplo, o objetivo deste artigo é apresentar os resultados da modelagem da ilha de calor urbana (ICU) a partir da relação com uso da terra em Rancharia, localizada no oeste do estado de São Paulo, considerando-se as medidas de temperaturas do ar registradas por meio de transectos móveis e imagens do satélite Landsat 7. Destaca-se que mesmo com as avarias do sistema Landsat 7 ocorridas no ano de 2003¹, o satélite obtém imagens atuais de qualidade para a localidade.

Rancharia é uma cidade de pequeno porte localizada no oeste paulista a 22° 13' 23" de Latitude sul e 50° 53' 35" de Longitude oeste, distante 520 Km da capital do estado, São Paulo (Figura 1).

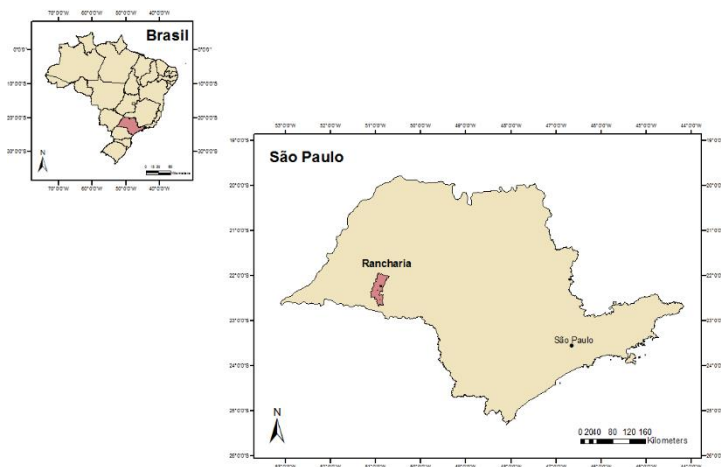


Figura 1. Mapa de localização de Rancharia-SP. Fonte da base cartográfica: IBGE (2007). Elaboração: TEIXEIRA, D. C. F. (2014).

Segundo o censo do IBGE, em 2010 o município contava com 28.804 habitantes sendo que destes, 2.976 pessoas eram residentes na zona rural, enquanto que 25.828 residiam na área urbana.

As atividades econômicas praticadas são a policultura e as indústrias de transformação em que se destacam a de metal e madeira, a têxtil, a de extração de óleos vegetais, laticínios e os estabelecimentos frigoríficos. O comércio e o turismo também são importantes na economia local.

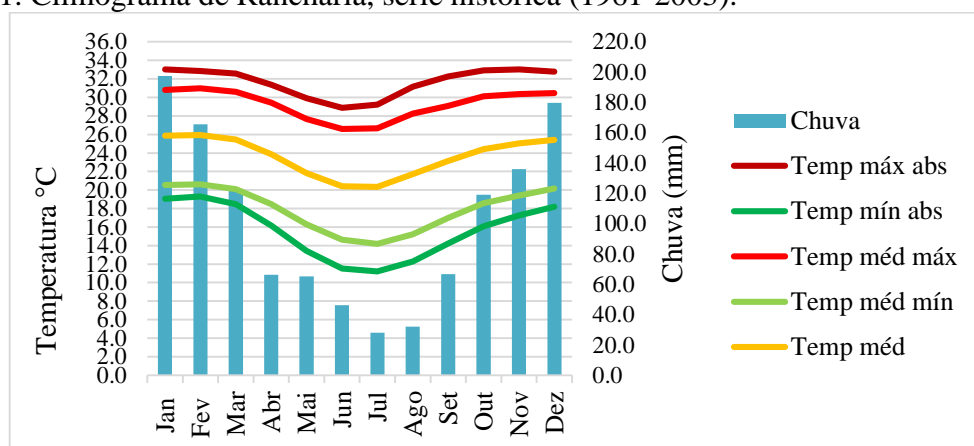
Inserido no contexto climático da região sudeste do Brasil, em área de ocorrência do clima tropical alternadamente chuvoso e seco, o município de Rancharia, devido a sua posição latitudinal, está numa “[...] faixa de conflito entre massas de ar distintas, com participação de correntes tropicais marítimas de leste-nordeste, correntes polares de sul e correntes do interior de oeste-noroeste” (CAVALCANTI et al. 2009, p. 246).

A porção oeste do estado de São Paulo apresenta temperaturas médias superiores a 22°C e pluviosidade entre 1250 e 1400 milímetros anuais, irregulares no outono-inverno e abundantes na primavera-verão, o que é explicado pela sazonalidade do clima tropical. Outros fatores condicionantes do clima na região Sudeste são a maritimidade e continentalidade que interferem na característica da temperatura e na umidade do ar.

O Gráfico 1 resume os dados de temperatura e precipitação da série histórica de Rancharia que reúne 42 anos de registros. Observa-se que o clima local é marcado por uma forte oposição entre primavera/verão chuvoso e outono/inverno mais seco.

¹ Refere-se a avarias de *hardware* no sensor *Scan Line Corrector* (SLC) do sistema ETM+.

Gráfico 1. Climograma de Rancharia, série histórica (1961-2003).



Fonte dos dados: Agritempo (2013). Organização: Danielle C. Frasca Teixeira (2014).

2. Metodologia de trabalho

De acordo com Lang e Blaschke (op cit. p. 63), “a análise espacial apoiada em SIG objetiva fundamentalmente gerar novas informações, o que se dá por meio da manipulação e integração com camadas de dados já existentes”. Nesse sentido, este trabalho propõe uma nova metodologia para a modelagem da ICU a partir de uma campanha de campo e imagens do satélite Landsat 7. O primeiro passo foi a realização de coleta de dados em campo que permitiu registrar as temperaturas (na forma tradicional de transecto e de pontos fixos) levando-se em consideração os diferentes tipos de paisagens urbanas e características da superfície, como, por exemplo, o uso da terra, a densidade de construções e de vegetação arbórea. O segundo passo foi a elaboração de um mapa do uso da terra a partir de uma segmentação e classificação da imagem Landsat 7. As imagens do Landsat 7 utilizadas foram de comprimentos de ondas curtas das bandas 3,4 e 5, cujas aplicações são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Características e aplicações das bandas 3,4 e 5 do Satélite Landsat 7.

| Banda | Intervalo espectral | Aplicações |
|-------|--------------------------|--|
| 3 | 0,63- 0,69 μm | Mapeamento de drenagem, demarcação da mancha urbana, identificação de áreas agrícolas. |
| 4 | 0,76-0,90 μm | Mapeamento de queimadas, de plantas aquáticas e de áreas agrícolas. |
| 5 | 1,55- 1,75 μm | Observação do estresse hídrico nas plantas. |

Fonte dos dados, disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php>. Acesso em: 06 Nov. 2014.

As três bandas possibilitaram a elaboração de uma composição colorida que diferencia as áreas urbanas das agrícolas. A junção das bandas 3 e 4 resultou no NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), uma variável também considerada para a análise do modelo (Figura 2), capaz de indicar “a abundância relativa e a atividade de vegetação verde” (JENSEN, 2009. p. 384). O produto gerado pelo NDVI identifica a densidade de vegetação e a sua distribuição. Pela análise da Figura 2, é possível relacionar as áreas em amarelo, laranja e marrom como áreas com menor densidade de vegetação, o que corresponde às áreas urbanas, de solo exposto e arruamentos, enquanto que os tons em verdes mostram maior densidade de vegetação na forma da arborização urbana, gramíneas e lavouras.

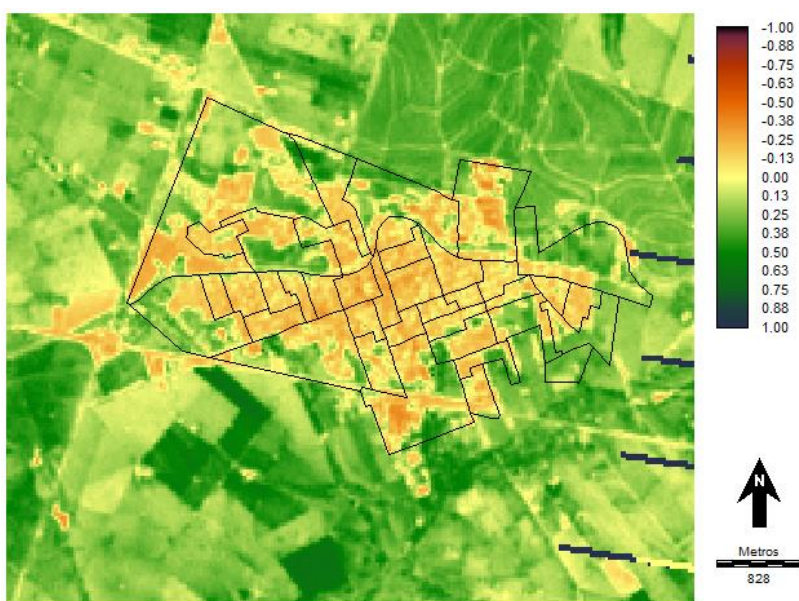


Figura 2: Carta de NDVI de Rancharia/SP, elaborada a partir das bandas 3 e 4 da imagem Landsat 7, 20/01/2014. Fonte da imagem: <<http://glovis.usgs.gov/>>Elaboração: TEIXEIRA, D.C.F. (2014).

Outra variável para a modelagem, a carta de uso da terra de Rancharia foi elaborada de forma que se distinguiram três classes: a área urbana, a vegetação alta e a vegetação baixa, conforme mostrado na Figura 3. Estas classes demonstraram, por meio da estatística, relações com a geração da ilha de calor urbana. A classe vegetação alta reúne as áreas de vegetação densa, lavoura de cana-de-açúcar, eucaliptos e arborização urbana de grande porte. A vegetação baixa foi identificada principalmente pelas pastagens e a classe urbana pelas áreas impermeabilizadas, de maior densidade construtiva e de solo exposto de loteamentos em expansão.

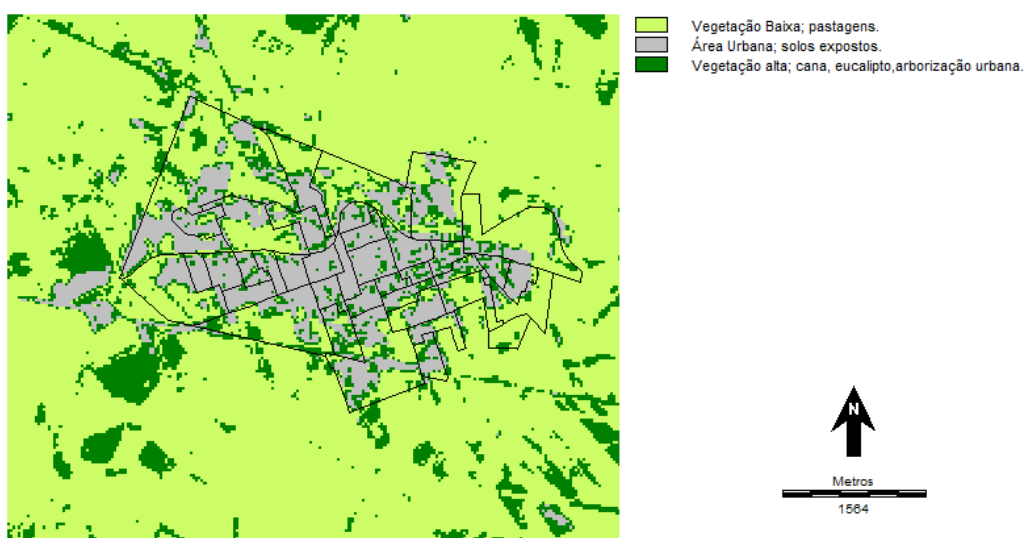


Figura 3: Carta de uso da terra, Rancharia-SP, elaborada com imagem Landsat 7, 20/01/ 2014, a partir do método *cluster* de classificação não-supervisionada. Fonte da imagem: <<http://glovis.usgs.gov/>> Elaboração: TEIXEIRA, D.C.F. (2014).

Na sequência foi calculado o centro geométrico para se considerar no resultado final a distância do centro da cidade. O terceiro passo foi a realização de uma regressão múltipla usando-se para cada ponto do transecto uma correlação entre a temperatura do ar medida e a frequência de cada classe de uso da terra em janelas móveis de tamanho variável entre 3×3 *pixel* (90 x 90 metros), 5×5 *pixel* (150 x 150 metros) e de 9×9 *pixel* (270 x 270 metros), considerando que a resolução espacial do Landsat 7 nas bandas selecionadas é de 30 metros (JENSEN, op. cit. p. 208). Estes testes de abrangência tinham por objetivo delimitar a área de representatividade de cada ponto medido a partir da correlação estatística entre as classes de uso da terra e a temperatura do ar. O modelo, em seguida, discrimina os melhores indicadores espaciais para cada categoria de forma a estimar os resultados para toda a imagem através de regressão linear múltipla.

3. Resultados e discussão

3.1 Transecto móvel

Resultante do balanço de energia na área urbana, a ICU é definida como:

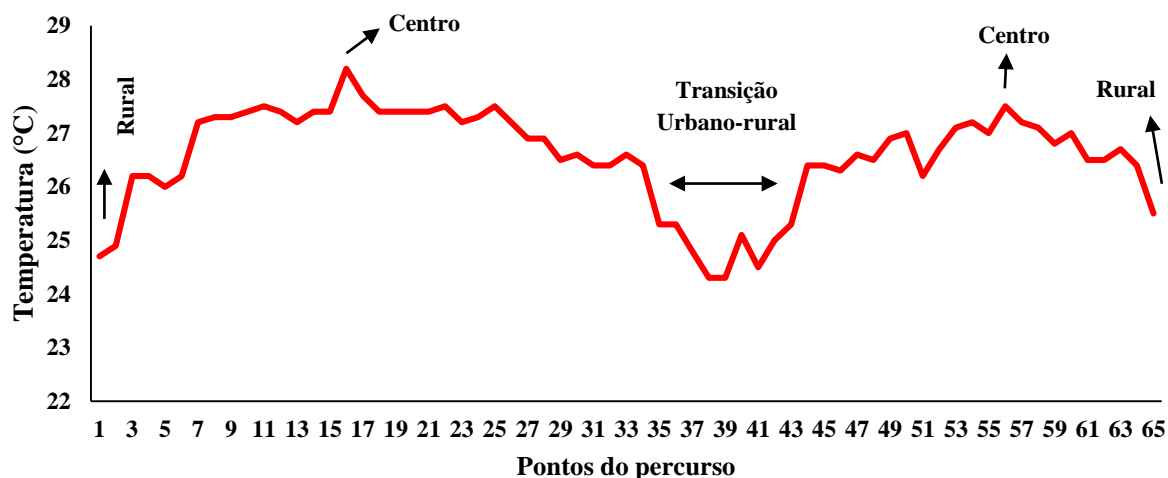
[...] uma cúpula de ar quente que cobre a cidade, a ilha de calor urbana (ICU) é a manifestação do aumento das temperaturas causado por características físicas (alta densidade de construções, concentração de materiais construtivos de grande potencial energético de emissividade e reflectância) e as atividades urbanas. (AMORIM et al., 2009).

O perfil térmico noturno da cidade de Rancharia apresentou o modelo clássico da ilha de calor (OKE, 1974) com o centro urbano, as áreas de maior densidade construtiva e de vegetação esparsa, mais aquecidas do que as áreas periféricas que sofrem maior influência do rural próximo.

O transecto do dia 19 de janeiro de 2014, exibido no Gráfico 2, se realizou às 21 horas, com duração de 50 minutos. Foi utilizado um veículo que percorreu duas avenidas principais nos sentidos latitudinal e longitudinal, numa velocidade constante de 20 Km/h. Os valores da temperatura do ar foram medidos pelo Termohigrômetro Digital, modelo TH-03B da marca *Impac*, sendo os valores anotados a cada 100 metros percorridos pelo veículo.

Os ventos eram oriundos do sudeste e de nordeste, estavam fracos, com a velocidade de 0,2 m/s. Sob esta condição de calmaria, a intensidade da ICU atingiu 3,9°C, classificada como moderada (García, 1996). As áreas densamente construídas, notadamente do centro urbano, apresentaram as maiores temperaturas, enquanto que as áreas de transição do urbano para o rural e do rural próximo formaram ilhas frescas.

Gráfico 2: Temperatura do ar a partir do transecto móvel, Rancharia-SP, 19/01/2014, 21 horas.



Fonte dos dados: Trabalho de campo (2014). Organização: Danielle C. F. Teixeira (2014).

3.2 Relação entre a temperatura do ar e a cobertura do solo

Para os dados de Rancharia, a correlação entre a porcentagem por *pixel* de cada classe de cobertura da terra com a temperatura do ar mostrou valores próximos a 0.6, nas janelas 3x3, 5x5, e 9x9. A regressão múltipla apresentou correlação final no valor de 0.85 (R^2), um resultado que explica 85% da variabilidade dos dados e a confiabilidade do modelo (LANDIM, 2011).

A Figura 3 mostra a modelagem da ilha de calor com as temperaturas estimadas para a área de estudo. É possível perceber a distribuição das temperaturas no intraurbano e no entorno rural no intervalo de 24 a 29°C, e o núcleo da ilha de calor urbana com temperatura estimada entre 28 e 29.5°C no centro densamente construído. Áreas de lavouras de cana-de-açúcar, eucaliptos e pastagens ao norte e sul do perímetro urbano apresentaram as menores temperaturas estimadas (entre 24 e 24,5°C), enquanto que as áreas densamente construídas e de solos expostos apresentaram as maiores temperaturas (de 28 a 29°C).

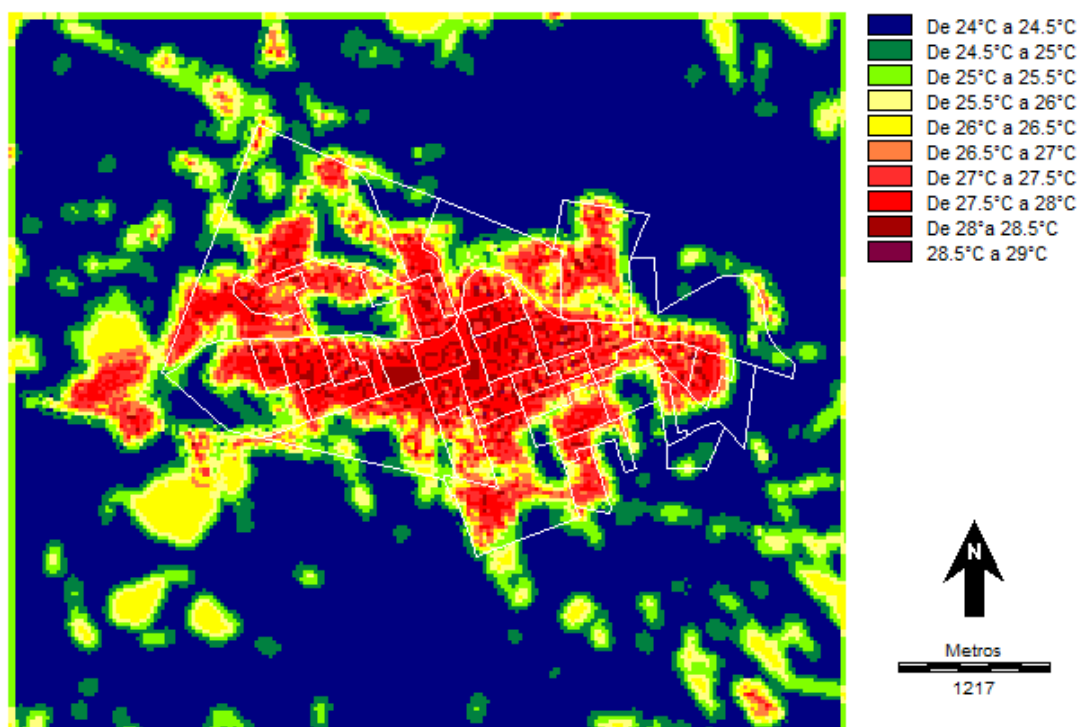


Figura 3: Modelagem da ilha de calor urbana de Rancharia-SP elaborada com imagem Landsat 7 do dia 20/01/ 2014. Fonte da imagem: <<http://glovis.usgs.gov/>>. Elaboração: Danielle Frasca Teixeira (2014).

4. Conclusões

O modelo foi eficiente para a estimação da temperatura do ar e para a espacialização da ICU a partir da relação com a ocupação da terra pois as variáveis aplicadas explicam 85% da variabilidade dos dados. A distribuição da ICU se associou às formas de ocupação urbanas, vegetação arbórea esparsa de menor porte e o seu núcleo se posicionou no centro urbano densamente construído. Nas áreas periféricas representativas do rural próximo, ocupado por pastagens, cana-de-açúcar e eucaliptos foram estimadas as menores temperaturas do ar. Desta forma, confirma-se que a variação do uso da terra relaciona-se com a variação na temperatura do ar.

Agradecimentos:

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelo apoio financeiro fornecido à pesquisa. O programa das "Cátedras Francesas do Estado de São Paulo", uma parceria entre a embaixada da França no Brasil e a UNESP-Presidente Prudente.

Referências bibliográficas:

AMORIM M.C.C.T., DUBREUIL V., QUENOL H., SANT'ANNA J.L. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins**, Online, 7, 16p., 2009. Disponível em: <<http://confins.revues.org/index6070.html>> Acesso em 31 Out. 2014.

AMORIM M.C.C.T., SANT'ANNA J.L., DUBREUIL V. Estrutura térmica identificada por transectos móveis e canal termal do Landsat-7 em cidade tropical. **Revista de Geografia Norte Grande**, Santiago, Chile, n°43, p.65-80, 2009.

CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Orgs) **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

DUBREUIL V., DELAHAYE C., LE STRAT A. Dynamiques d'occupation et d'utilisation du sol et leurs impacts climatiques au Mato Grosso, Brésil. **Confins**, online, 10, 2010 Disponível em :<<http://confins.revues.org/6845>> Acesso em 31 Out. 2014.

FERREIRA, C. De C. M. **Aplicação da lógica nebulosa (fuzzy cluster) na definição de unidades climáticas**: estudo de caso na bacia do Rio Paraibuna-MG/RJ. Revista Brasileira de Climatologia, v.10, p.85-97, jan/jun, 2012.

FOISSARD X., QUENOL H., DUBREUIL V. **L'influence de la variabilité des facteurs météorologiques sur l'occurrence et l'intensité de l'îlot de chaleur urbain à rennes en 2010**. In: Colloque de l'AIC, 24., 2011, Rovereto. Anais... Italie, 2011. p. 261-266

FOISSARD X., QUENOL H., DUBREUIL V. **Analyse et spatialisation de l'îlot de chaleur urbain dans l'agglomération rennaise**. In: Colloque de l'AIC, 26., 2013, Cotonou. Anais... Bénin, 2013, p.242-247.

GARCÍA, F. F. **Manual de Climatología aplicada**: clima, medio ambiente y planificación. Madrid: Editorial síntesis, S.A., 1995. 285p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução: José Carlos Epiphanyo (coord). 2 ed. São José dos Campos: Parênteses, 2009.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística dos dados geológicos multivariados**. São Paulo: Oficina de textos, 2011. 208 p.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. Tradução: Hermann Kux. São Paulo: Oficina de textos. 424 p.

Site oficial do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (**Agritempo**). Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/agritempo/index.jsp>> Acesso em 12 Jan. 2014.

Site oficial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **IBGE cidades**. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=354220&idtema=1&search=sao-paulo|rancharia|censo-demografico-2010:-sinopse->> Acesso em 27 Fev. 2014.

Site oficial do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (**INPE**). Disponível em: <<http://www.inpe.br/>> Acesso em 06 Nov. 2014.

Site The USGS Global Visualization Viewer (**Glovis**). Disponível em:<<http://glovis.usgs.gov/>> Acesso em: 22 Jan. 2014.